البعد الجغرافـــي للعوامل المناخية وأثرها على كفاءة الحركة الجوية في مطار معيتيقة الدولـــي 2019- ابريل 2025

د. ألفت عبد السلام المقطوف قلعوز - قسم الجغرافيا - كلية الآداب الزاوية – جامعة الزاوية

The Impact of the Geographic Dimension of Climatic Factors on Air Traffic Efficiency at Mitiga International Airport (2019–April 2025)

Abstract

This study aims to analyze the impact of geographical and climatic factors on operational efficiency at Mitiga International Airport during the period from 2019 to April 2025. A descriptive-analytical approach was adopted, supported by quantitative statistical methods. The study examined the relationship between climatic conditions and operational performance indicators, seeking to understand the nature of interaction between these variables and to assess the extent of their influence on the efficiency of air operations.

The findings revealed significant effects of climatic factors on operational efficiency, with notable seasonal variations in performance. These results highlight the need for flexible operational strategies that align with changing climatic conditions. Accordingly, the study proposes a set of recommendations aimed at enhancing operational readiness and strengthening the airport's capacity to adapt to various climatic challenges.

This study represents a valuable contribution to the field of applied geography, offering a knowledge framework that can support the formulation of appropriate operational policies for airports located in climate-volatile environments—particularly in coastal areas characterized by frequent and diverse weather phenomena.

الملخـــــص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أثر العوامل الجغرافية والمناخية على كفاءة التشغيل في مطار معيتيقة الدولي خلال الفترة من عام 2019 حتى أبريل 2025، وذلك من خلال توظيف منهج وصفي تحليلي مدعوم بأساليب إحصائية كمية. وقد تناولت الدراسة

العلاقة بين الظروف المناخية ومؤشرات الأداء التشغيلي، سعيًا إلى فهم طبيعة التفاعل بينهما وتحديد مدى تأثير هذه العوامل على كفاءة العمليات الملاحية.

توصلت النتائج إلى وجود تأثيرات واضحة للعوامل المناخية على كفاءة التشغيل، مع تباين ملحوظ في الأداء عبر الفصول، مما يعكس ضرورة اعتماد استراتيجيات تشغيلية مرنة تتوافق مع الخصائص المناخية المتغيرة. وبناءً على ذلك، قدمت الدراسة مجموعة من التوصيات الرامية إلى رفع مستوى الجاهزية التشغيلية، وتعزيز قدرة المطار على التكيف مع التحديات المناخية المختلفة.

وتُعد هذه الدراسة إضافة نوعية في مجال الجغرافيا التطبيقية، كما تُسهم في توفير إطار معرفي يمكن الاستناد إليه عند وضع السياسات التشغيلية المناسبة للمطارات الواقعة ضمن البيئات المناخية المتقلبة، ولا سيما في المناطق الساحلية التي تتسم بتعدد الظواهر الجوية وتقلبها.

المقدمة :

شهد قطاع النقل الجوي خلال العقود الأخيرة تطورًا نوعيًا، جعله أحد الأعمدة الحيوية التي تربط بين المدن والدول، ويلعب دورًا محوريًا في تسهيل حركة الأفراد وتدفق البضائع على المستويين المحلي والدولي. وقد صاحب هذا التوسع المتسارع في النشاط الجوي تزايد الحاجة إلى دراسة العوامل المؤثرة في كفاءته التشغيلية، وفي مقدمتها العوامل المناخية ذات الارتباط الوثيق بالموقع الجغرافي.

تُعد المطارات من أبرز البنى التحتية الحساسة التي تتأثر مباشرًا بتقلبات الطقس، إذ يمكن للظواهر الجوية المختلفة أن تعيق عمليات الإقلاع والهبوط والتحليق، وتؤثر على السلامة الجوية وكفاءة إدارة الوقت والموارد. حيث تزداد حدة هذه التأثيرات في المطارات الواقعة ضمن نطاقات مناخية متقلبة أو تلك المحاذية للمناطق الساحلية، أو التي تشهد ظروفًا جوية قاسية ومتكررة.

وفي هذا الإطار، يُطرح مطار معيتيقة الدولي بمدينة طرابلس كنموذج تطبيقي تجتمع فيه الخصائص الجغرافية والمناخية التي تُظهر بوضوح طبيعة العلاقة بين الموقع الجغرافي والظروف الجوية، ومدى انعكاس ذلك على كفاءة النقل الجوي. إذ يقع المطار ضمن نطاق مناخي ساحلي يتعرض بانتظام لتأثيرات الضباب البحري، والرياح الساحلية، والعواصف الرملية، ما يفرض تحديات تشغيلية متكررة، تتمثل في زيادة زمن الانتظار، وارتفاع نسب الإلغاء، وتراجع القدرة الاستيعابية. ومن هنا تبرز أهمية البحث

في التداخل بين العوامل المناخية والبنية التقنية للمطار، بهدف الوصول إلى توصيات علمية تسهم في تعزيز الكفاءة التشغيلية والحد من تأثير الظروف الجوية.

مشكلة الدراسة وتساؤلاتها:

تتجلى مشكلة الدراسة في الحاجة إلى فهم العلاقة بين الخصائص الجغرافية والعوامل المناخية المؤثرة في كفاءة عمليات النقل الجوي، مع التركيز على مطار معيتيقة الدولي، الذي يُعد من أبرز المطارات الليبية تعرضًا للظواهر الجوية المعوقة لحركة الطيران. وتبرز أهمية هذه الدراسة في ضوء تكرار حالات الضباب، والعواصف الرملية، والرياح الشديدة، التي تؤثر سلبًا على انتظام الرحلات وسلامة الطيران. وبناءً عليه، تتمثل المشكلة الرئيسة في السؤال الآتي: ما مدى تأثير العوامل المناخية المرتبطة بالموقع الجغرافي لمطار معيتيقة الدولي على كفاءة النقل الجوي؟

وانطلاقًا من هذا التساؤل الرئيس، تتفرع عنه التساؤلات الفرعية الآتية:

1- إلى أي مدى يسهم الموقع الجغرافي والبنية التحتية لمطار معيتيقة الدولي في تعرّضه للظواهر المناخية التي تؤثر في كفاءة النقل الجوي؟

2- ما طبيعة التأثير الذي تُحدثه العوامل المناخية، مثل الضباب، والرياح، والعواصف الرملية، على مراحل الطيران المختلفة، وبخاصة الإقلاع، والهبوط، والطيران المستقيم في المطار؟

3- كيف تؤثر الظروف المناخية غير المستقرة على الأداء التشغيلي للمطار، من حيث معدلات التأخير، وحالات الإلغاء، وزمن الوصول (Taxi Time) ؟

4- ما مدى فاعلية الحلول التقنية والتشغيلية المقترحة في التخفيف من آثار الظواهر المناخية على كفاءة النقل الجوي في مطار معيتيقة الدولي؟

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية، تتمثل في الآتي:

1-تحليل الخصائص الجغرافية والبنية التحتية لمطار معيتيقة الدولي، وبيان مدى ارتباطها بتعرض المطار للظواهر المناخية المؤثرة على كفاءة التشغيل الجوي.

2- استكشاف أثر العوامل المناخية السائدة في المنطقة المحيطة بالمطار — مثل الضباب البحري، الرياح الساحلية، والعواصف الرملية، وغيرها — على كفاءة العمليات الجوية خلال مراحل الطيران 3- تقييم انعكاسات التغيرات المناخية الموسمية على مؤشرات الأداء التشغيلي للمطار، بما يشمل معدلات التأخير، الإلغاء، وزمن

الحركة الأرضية للطائرات ((Taxi Time، وذلك استنادًا إلى بيانات تشغيلية ومناخية للفترة 2019–وحتى ابريل 2025.

4- اقتراح مجموعة من الحلول التقنية والتشـــغيلية الكفيلة برفع كفاءة النقل الجوي في مطار معيتيقة خلال فترات الاضـــطرابات الجوية، مع التركيز على تطوير الأنظمة الملاحية، وتعزيز قدرات الرصد والإنذار المبكر، وتحسين كفاءة العنصر البشري.

فرضيات الدراسة:

1- يُتوقع أن يســـهم الموقع الجغرافي والبنية التحتية الحالية لمطار معيتيقه الدولي في زيادة تعرضه للاضطرابات المناخية المؤثرة على كفاءة التشغيل الجوي.

2- يؤثر الظواهر المناخية، لا سيما الضباب البحري، والرياح، والعواصف الرملية، بشكل ملحوظ على مراحل الإقلاع، الهبوط، والطيران المستقيم او التحليق.

3- تتسبب الظروف المناخية غير المستقرة في ارتفاع معدلات تأخير وإلغاء الرحلات، وزيادة متوسط زمن حركة الطائرات الأرضية.

4- تسهم الحلول التقنية والتوصيات التشغيلية المقترحة في الحد من تأثير العوامل المناخية وتحسين كفاءة النقل الجوي في المطار.

أهمية الدراسة:

تنبع أهمية هذه الدراسة من:

1- مساهمتها في سد الفجوة البحثية المتعلقة بتأثير العوامل المناخية على كفاءة النقل الجوي في البيئة الليبية، والتي لا تزال محدودة التوثيق.

2- تقديم نموذج تطبيقي على مطار معيتيقة الدولي باعتباره أحد الموانئ الجوية الحيوية.

3- دعم صناع القرار ومتخذي السياسات التشغيلية بالمعلومات والبيانات اللازمة لوضع خطط استباقية لإدارة المخاطر المناخية.

4- تعزيز تكامل المعرفة الجغرافية والمناخية ضمن منظور النقل الجوي، بما يسهم في رفع كفاءة الأداء التشغيلي في ظل التغيرات المناخية.

مصطلحات الدراسة:

تتضمن هذه الدراسة عددًا من المصطلحات الجغرافية والمناخية والتشغيلية التي تشكّل الركائز الأساسية لفهم العلاقة بين الموقع والظواهر الجوية وكفاءة النقل الجوي، ومن أبرزها:

1- **البُعد** الجغرافي :(Geographical Dimension) يُقصد به الخصائص المكانية

لموقع مطار معيتيقة الدولي، بما في ذلك موقعه الساحلي، طبيعته الجيومرفولوجية، وتكوين التضاريسي المحيطة وما ينجم عنها من تأثير مباشر في تعرضه للظروف الجوية المختلفة (الزغبي، 2016، ص. 42).

2- الموقع الساحلي :(Coastal Location) هو التموضع الجغرافي للمطار على الساحل الشرقي لمدينة طرابلس، مما يجعله عرضة لتأثيرات مناخ البحر الأبيض المتوسط مثل الضباب البحري، الرطوبة المرتفعة، والرياح العرضية(أبو زيد، 2019، ص. 88)

3- العوامل المناخية :(Climatic Factors) هي مجموعة من الظواهر الجوية التي تؤثر على عمليات الطيران، وتؤدي الي عرقله عمليات النقل الجوي. (Barry & Chorley, 2009, p. 122).

4 - الضباب البحري :(Sea Fog) تكاثف بخار الماء بالقرب من سطح الأرض نتيجة لاختلاف درجات الحرارة بين اليابسة والبحر، مما يؤدي إلى انخفاض مدى الرؤية الأفقية، ويُعد من العوامل المعوقة لعمليتي الإقلاع والهبوط. (جابر، 2015، ص. 67).

5- العواصف الرملية :(Sandstorms) ظاهرة مناخية ناتجة عن نشاط الرياح الجنوبية المحملة بذرات الغبار والرمال، تؤدي إلى تدني الرؤية وتعطيل عمليات الإقلاع والهبوط، وتستوجب تعليق أو تحويل بعض الرحلات الجوية. (السيد، 2018، ص. 101).

6- الرياح الجانبية :(Crosswind) هي الرياح التي تهب بزاوية مائلة أو متعامدة على اتجاه المدرج، وتشكل تحديًا للطائرات عند الهبوط أو الإقلاع، إذ قد تؤدي إلى فقدان السيطرة على المسارات الجوية للطائرات. .(ICAO, 2021, p. 56)

7- التباين الحراري :(Thermal Variation) يشير إلى الفروق الكبيرة في درجات الحرارة بين الليل والنهار، خاصة في المناطق الساحلية، ما يساهم في اضطراب الكتل الهوائية وتشكل التيارات الصاعدة والهابطة (الفيومي، 2017، ص. 33).

8- زمن الحركة الأرضية:(Taxi Time) هو الزمن الذي تستغرقه الطائرة للتحرك على الأرض بين البوابة ومدرج الإقلاع أو من المدرج إلى البوابة عند الهبوط، ويُعد مؤشرًا مهمًا لقياس مدى تأثر العمليات الأرضية بالظروف الجوية كالرؤية المنخفضة والرياح القوية. ة (الشناوي، 2014، ص. 115)

9 - كفاءة التشغيل الجوي :(Air Operational Efficiency) تُعبّر عن قدرة المطار على تنفيذ الرحلات الجوية بانتظام في ظل ظروف مناخية متقلبة، وتقاس من خلال

عدد الرحلات المنفذة وحالات التأخير، والإلغاء، ومدى انتظام جدول التشغيل. (زيدان، 2020، ص. 74).

10- أنظمة الهبوط الآلي :(Instrument Landing Systems - ILS) هي تجهيزات ملاحية متقدمة تُستخدم لتوجيه الطائرة نحو المدرج أثناء الهبوط، خصوصًا في الظروف التي تكون فيها الرؤية الأفقية منخفضة، وتُسهم في تقليل أثر الظواهر الجوية على سلامة الطيران. .(GPO, 2020, p. 38)

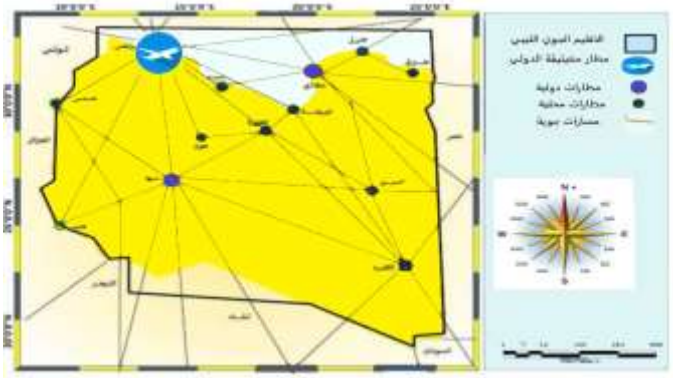
حدود الدراسة:

تُعد حدود الدراسة إطارًا منهجيًا يحدد المجال الذي تدور فيه إشكالية البحث، وذلك من خلال تحديد الأبعاد الزمنية والمكانية والموضوعية التالية:

- الحدود المكانية:(Spatial Boundaries)

تتمثل الحدود المكانية لهذه الدراسة في مطار معيتيقة الدولي، الكائن في الضاحية الشرقية من مدينة طرابلس، والذي يُعد أحد أهم المطارات التشغيلية في المنطقة الغربية من ليبيا. وقد خُصص التركيز على النطاق المناخي المحيط بالمطار، وذلك ضمن الإحداثيات الجغرافية (شرقًا°13.283 :، شمالًا: °32.895) (حسين، 2022، ص. 93). كما هو موضح بالخريطة (رقم 1). ويُعزى اختيار هذا الموقع إلى تأثره المباشر بالظواهر الجوية المرتبطة بالمناخ الساحلي والبحري، الأمر الذي يجعله نموذجًا تطبيقيًا مثاليًا لدراسة التفاعل بين الجغرافيا والمناخ وأثر ذلك على كفاءة العمليات الجوية.

خريطة (1) الموقع الجغرافي لمطار معيتيقة الدولي



المصدر: عمل الباحثة استنادا الي: الهيئة العامة للطيران المدني، و مركز الملاحة الجوية

الحدود الزمنية:

يغطي الإطار الزمني للدراسة الفترة الممتدة من بداية عام 2019 حتى نهاية شهر أبريل من عام 2025، بما يتيح تتبع التغيرات المناخية الموسمية والتراكمية التي أثرت على كفاءة التشغيل الجوي خلال هذه السنوات. وتشمل هذه الفترة فصول المناخ المتباينة، بالإضافة إلى الأحداث المناخية الاستثنائية وفترات الإغلاق المؤقت أو اضطرابات الطيران المسجلة.

3- الحدود الموضوعية:

تُركز الدراسة على البُعد الجغرافي للعوامل المناخية المؤثرة على كفاءة النقل الجوي في مطار معيتيقة الدولي، وذلك من خلال تحليل أثر هذه العوامل ضمن ثلاث مراحل رئيسية لرحلة الطيران: الإقلاع، الطيران المستقيم أو التحليق، والهبوط. كما تهدف الدراسة إلى استكشاف العلاقة بين الظواهر المناخية السائدة في المنطقة ومدى تأثيرها على المؤشرات التشغيلية للمطار، مثل معدلات التأخير والإلغاء، وزمن الحركة الأرضية للطائرات، في ظل التغيرات المناخية خلال فترة الدراسة.

منهج الدراسة:

نظرًا لطبيعة موضوع الدراسة الذي يتناول أثر العوامل المناخية على كفاءة النقل الجوي من منظور جغرافي تطبيقي، فقد تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي والمنهج الكمي التطبيقي لتحقيق أهداف البحث والإجابة عن تساؤلاته، وذلك على النحو التالي:

أولًا: المنهج الوصفي التحليلي

يُستخدم هذا المنهج في توصيف وتحليل الخصائص الجغرافية والمناخية المرتبطة بمطار معيتيقة الدولي، ويشمل:

-وصف الموقع الجغرافي والبنية التحتية للمطار ضمن النطاق الساحلي لمدينة طرابلس.

- تحليل الظواهر المناخية المؤثرة على مراحل الطيران (الإقلاع، الهبوط، الطيران المستقيم).

- ربط المعطيات المناخية بالمشكلات التشغيلية من منظور مكاني وتوزيعي.

ثانيًا: المنهج الكمي التطبيقي

يُعتمد هذا المنهج لتحليل البيانات المناخية والتشغيلية إحصائيًا، والكشف عن العلاقات بين الظواهر الجوية ومؤشرات أداء المطار، باستخدام أدوات إحصائية دقيقة، ومن أبرزها:

1-معادلة معامل الارتباط بيرسون .(Pearson Correlation Coefficient)

تستخدم لقياس قوة العلاقة الخطية بين متغيرين، مثل العلاقة بين عدد أيام الضباب وعدد الرحلات المتأخرة، وتُحسب وفق المعادلة الآتية:

$$r = [n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)]/ \sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}$$

حيث أن: r = معامل الارتباط

x= قيم المتغير الأول (مثل الظاهرة المناخية)

Y = قيم المتغير الثاني (مثل مؤشر الأداء التشغيلي)

N = عدد الم شاهدات

$\sum$ = مجموع القيم

2. معادلة الاتجاه العام (Linear Trend Equation)

تستخدم لتحليل نمط التغير في الظواهر المناخية أو التشغيلية عبر الزمن، مثل تطور عدد أيام الضباب السنوية، وتُعبر عنها المعادلة الآتية: $Y = a + bX$

حيث أن:

Y =القيمة المتوقعة لعدد الرحلات المتأثرة

X = المتغير الزمني

a = الثابت أو نقطة التقاطع

b =معامل الاتجاه لمعدلات التغير

ويحسب معامل الاتجاه bبالمعادلة التالية. $b = [n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)]/ [n\sum x^2 - (\sum x)^2]$

إن استخدام هذه المنهجية ساهم في الوصول إلى استنتاجات علمية دقيقة تربط بين المناخ والتشغيل الجوي، مما يعزز مصداقية النتائج ويوفر أساسًا للتخطيط التشغيلي المستقبلي.

أدوات البحث:

اعتمدت هذه الدراسة على مجموعة من الأدوات البحثية التي تتكامل مع أهدافها التطبيقية والجغرافية المناخية، وتُسهم في تحليل العلاقة بين الظواهر الجوية ومدى تأثيرها على كفاءة النقل الجوي في مطار معيتيقة الدولي. وقد توزعت هذه الأدوات على النحو التالي:

1. قواعد البيانات المناخية الرقمية (2019–أبريل 2025): تم الاعتماد على بيانات مناخية مفصلة تغطي فترة تحليلية تمتد من يناير 2019 إلى ديسمبر 2025، وذلك للاستفادة من التباين الموسمي والمناخي خلال هذه السنوات. وقد تم الحصول على هذه البيانات من مصادر عالمية موثوقة، أبرزها:

- Meteoblue لتوفير معلومات حول درجات الحرارة، الضغط الجوي، معدلات الرؤية الأفقية، سرعة واتجاه الرياح، إضافة إلى تواتر الظواهر المناخية مثل الضباب والعواصف الرملية.

- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration كمصدر أرشيفي يغطي بيانات طويلة المدى، يُعتمد عليه لتحليل السلاسل الزمنية والتقلبات الجوية عبر السنوات.

2. السجلات التشغيلية لمطار معيتيقة الدولي (2019- أبريل 2025): حيث احتوت الدراسة تحليلًا لبيانات تشغيلية فعلية تم الحصول عليها من إدارة مطار معيتيقة خلال الفترة الممتدة من يناير 2019 حتى أبريل 2025، وقد تضمنت هذه البيانات العناصر التالية:

ـ عدد الرحلات المجدولة والمنفذة يوميًا وشهريًا.

ـ بيانات الإقلاع والهبوط، والحالات التي تأثرت بالظروف الجوية.

ـ معدلات تأخير الرحلات وإلغائها في الفصول الانتقالية وفترات العواصف.

3 - Taxi Time: يُستخدم هذا المؤشر لقياس مدى تأثر العمليات الأرضية بالظروف المناخية، مثل الضباب الكثيف، والرياح الجانبية، والاضطرابات الأرضية الناتجة عن الأمطار أو الرمال.

من خلال ما تقدم، تم تقسيم موضوع البحث إلى مجموعة من المحاور التي تناولت الموقع الجغرافي والبنية التحتية لمطار معيتيقة، وتأثير العوامل المناخية على مراحل الطيران المختلفة، وانعكاس تلك التأثيرات على الأداء التشغيلي للمطار. وقد سعى البحث من خلال هذه المحاور إلى تحليل العلاقة بين المناخ وكفاءة النقل الجوي، واستنتاج مؤشرات علمية يمكن أن تسهم في تطوير الجاهزية التشغيلية وتعزيز كفاءة وسلامة حركة الطيران في ظل الظروف الجوية المتقلبة.

المحور الأول ـ الأبعاد الجغرافية والاستراتيجية لمطار معيتيقة :

يُعد الموقع الجغرافي والبنية التحتية من العوامل الأساسية التي تُحدد مستوى كفاءة

المطارات، لا سيما في البيئات المناخية المتقلبة والمواقع الساحلية المفتوحة. ويكتسب مطار معيتيقة الدولي أهمية خاصة لوقوعه على الساحل الشرقي لمدينة طرابلس، داخل نطاق حضري كثيف، وعلى مقربة مباشرة من مراكز القرار السياسي والإداري في الدولة، مما جعله يلعب دورًا رئيسيًا في النقل الجوي المدني والدبلوماسي والإنساني، خصوصًا بعد خروج مطار طرابلس الدولي عن الخدمة.

ورغم ما يمنحه الموقع من مزايا استراتيجية، إلا أنه يرتبط بجملة من التحديات الميدانية، مثل التأثر المباشر بعوامل مناخية حادة كالرطوبة العالية، الضباب البحري، والرياح العرضية، إضافة إلى محدودية المساحة المتاحة للتوسع بسبب الإحاطة العمرانية، وطبيعة التربة السهلية التي تتأثر سلبًا بمياه الأمطار. كما أن جاهزية المطار التقنية لا تزال محدودة في بعض الجوانب، مما ينعكس على استقرار العمليات التشغيلية أثناء الظروف الجوية الطارئة.

واستنادًا إلى هذه الاعتبارات، يُركّز هذا المحور على تحليل الأبعاد الجغرافية والمناخية للموقع، والخلفية التاريخية لتطور المطار، إلى جانب دراسة بنيته التحتية وتجهيزاته التشغيلية، باعتبارها عناصر مؤثرة في كفاءة الإقلاع والهبوط، وسلامة الحركة الجوية، ومدى قدرة المطار على التكيف مع التحديات البيئية والفنية المحيطة.

أولا - البعد الجغرافـــــي:

إن موقع المطار الدولي ضمن النطاق العمراني الشرقي لمدينة طرابلس، وعلى بُعد لا يتجاوز 8 كيلومترات عن مركز العاصمة الليبية، وعلى ساحل البحر الأبيض المتوسط، بارتفاع يقارب 9 أمتار فقط فوق مستوى سطح البحر، جعله أقرب مطار فعّال إلى المؤسسات السيادية ومراكز القرار السياسي والاقتصادي في البلاد. ويمكن حصر أهميته الاستراتيجية في كونه:

1- نقطة ارتكاز حيوية للنقل الجوي المدني والدبلوماسي والإنساني، خاصة بعد تضرر مطار طرابلس الدولي وغياب البدائل الفعالة في المنطقة الغربية

2- قربه من العاصمة يمنحه دورًا رئيسيًا في استقبال الرحلات الدولية وتسهيل الحركة الجوية اليومية، ما يعزز مكانته بوصفه البوابة الجوية الرئيسية للدولة الليبية خلال السنوات الأخيرة.

وعلى الرغم من المزايا الاستراتيجية لموقع مطار معيتيقة الدولي، فإنه يواجه عدداً من التحديات الجوهرية التي تؤثر سلباً على كفاءة التشغيل، ويمكن اختصارها فيما يلي:

1- يقع المطار على سهل رملي طيني ضيق محاط بكثافة عمرانية من جهتي الجنوب والغرب، مما يقيد إمكانات التوسع الأفقي ويحدّ من تطوير مرافق جديدة أو إضافة مدارج بديلة.

2- غياب الحواجز التضاريسية الطبيعية يعرض المدرج مباشرةً لرياح عكسية قوية (Crosswind)، ما يستدعي في الأوقات الحاسمة تأجيل أو تحويل الرحلات لضمان السلامة.

3- تمركز المطار على تربة رسوبية يؤدي، خلال موسم الأمطار، إلى تشكل برك سطحية تعيق حركة الطائرات على أرضية المدرج (Taxi) وتهدد استقرارهما.

ثانيا - البعد التشغيلي والتقني :

تعكس التحديات الجغرافية لموقع المطار في قدرته على الصمود أمام الضغوط المناخية والتشغيلية؛ فقد شهد عام 2020 تراجعًا حادًّا في حجم التشغيل الدولي، إذ انخفض عدد الرحلات من 2,848 رحلة عام 2019 إلى 695 رحلة فقط، بينما تراجع عدد الركاب المنقولين من 426,286 إلى 97,197 راكبًا (إدارة مطار بنينا، 2021، ص. 45). إن هذا الانكماش المفاجئ يُبرز محدودية البنية المكانية في امتصاص الصدمات المناخية — خاصة خلال فترات الضباب الكثيف والعواصف الرملية وشدّة الرياح الجانبية — والتي أدّت إلى اضطراب جداول الرحلات وتقليص فعالية المدارج في استيعاب الحركة الجوية.

ولمواجهة التحديات الجغرافية والمناخية التي تؤثر على كفاءة التشغيل في مطار معيتيقة الدولي، بات من الضروري اعتماد تقنيات التكيّف التشغيلي الحديثة لتعزيز قدرة المطار على الاستمرارية وتحقيق أعلى مستويات الكفاء تتمثل هذه الإجراءات في:

ـ استخدام أنظمة رصد الطقس المتقدمة لمتابعة التغيرات المناخية المؤقتة (مثل الضباب، العواصف الرملية، سرعة واتجاه الرياح)، ما يتيح تنبؤات دقيقة تمكن إدارة المطار من اتخاذ قرارات فورية وفعالة.

ـ تجهيز المدارج والبنية التحتية بمعدات مقاومة للعوامل الجوية المختلفة، تشمل مقاومة التآكل، وأنظمة تصريف مياه متطورة تمنع تجمع البرك السطحية خلال موسم الأمطار، مما يحافظ على سلامة الحركة الجوية ويحد من تعطيل الرحلات.

ـ اعتماد نظم إدارة حركة الطائرات الذكية التي تتيح تعديل جداول الرحلات في الوقت المناسب لتفادي تأجيل أو تحويل الرحلات، مما يحسن من استخدام المدارج ويقلل من

الخسائر التشغيلية الناجمة عن التغيرات المناخية المفاجئة.

ـ تدريب الكوادر العاملة على الإجراءات الطارئة والاستجابة السريعة لمواجهة الظروف المناخية المتقلبة، لضمان استمرارية النشاط التشغيلي وتقليل المخاطر الناتجة عن الطقس.

ثالثا ـ البعد الاستراتيجي:

في ظل التحديات الجغرافية والمناخية التي تؤثر على كفاءة التشغيل في مطار معيتيقة الدولي، يتطلب الأمر تبني رؤية استراتيجية متكاملة تستند إلى تجارب دولية ناجحة في مجالات التكيّف التشغيلي والتقني، مع مراعاة خصوصية السياق الليبي الجغرافي والمناخي. ويمكن تناول هذا البعد من خلال المحاور التالية:

1- التكيّف مع التحديات الجغرافية تفرض الخصائص الجيومرفولوجية المحيطة بمطار معيتيقة الدولي—ومنها الرياح الجانبية الشديدة وتغيّر التضاريس والموقع الساحلي—مستوى عالٍ من التأهب والتخطيط التشغيلي. وللتعامل مع هذه الظروف، يُقترح تطوير نظام متكامل لمراقبة الرياح باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ((Remote Sensing، يوفّر بيانات دقيقة وفورية عن سرعة الرياح واتجاهها، مما يسهم في اتخاذ قرارات آمنة خلال عمليات الإقلاع والهبوط. وفي هذا السياق، يُعد مطار لشبونة الدولي في البرتغال نموذجًا مناسبًا للمقارنة، نظرًا لتشابهه من حيث الموقع الساحلي المكشوف على الأطلسي، وتأثره المستمر بالرياح العرضية القوية. وقد طوّر المطار منظومة حديثة لمراقبة الرياح تعتمد على أجهزة قياس دقيقة واستشعار فوري للتيارات الهوائية، ما عزز من جاهزيته التشغيلية، ويجعله مثالًا يُحتذى في المطارات المتأثرة بالرياح الجانبية (Barry & Chorley، 2010، ص. 96).

كما يمثّل وجود نظام فعّال لتصريف مياه المدارج عنصرًا جوهريًا في مواجهة تحديات الأمطار الموسمية، إذ إن تراكم المياه قد يُفضي إلى انخفاض الكفاءة التشغيلية وزيادة مخاطر السلامة الجوية. وفي هذا الإطار، يُبرز مطار ناريتا الدولي في اليابان أهمية اعتماد أنظمة تصريف متقدمة قادرة على التعامل مع فترات الهطول الشديد المرتبطة بالمناخ الموسمي الرطب، لا سيما في ظل موقعه الجغرافي الذي يجعله عرضة للأعاصير والأمطار الغزيرة. وقد ساهمت تلك الأنظمة في الحد من تأخيرات الرحلات وتعزيز كفاءة التشغيل خلال فصول الأمطار، ما يجعله نموذجًا يُمكن الاستفادة منه عند تطوير مطارات ذات طبيعة مناخية مماثلة، مثل معيتيقة (Stolzer وآخرون، 2016، ص. 55).

2- تعزيز القدرات التقنية والتشغيلية: تُعد البنية التحتية التقنية عاملاً حاسمًا في تمكين المطار من الاستجابة الفعالة للظروف المناخية المتقلبة، مثل العواصف الرملية والضباب الكثيف. ومن هذا المنطلق، يستوجب الأمر اعتماد أنظمة رصد جوي ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتوليد تنبؤات دقيقة في الزمن الحقيقي، ما يمكّن من اتخاذ قرارات تشغيلية مرنة، كتعديل مسارات الطائرات أو إعادة جدولة الرحلات.

وتعكس تجربة مطارات دولية مثل مطار فرانكفورت الدولي في ألمانيا نجاح هذه الأنظمة في الحفاظ على مرونة التشغيل وتقليل نسبة التأخيرات، حيث تُدار العمليات التشغيلية فيه استنادًا إلى معلومات مناخية عالية الدقة وتقنيات دعم القرار، مما يسمح بتجنب المخاطر وتقليل الخسائر (Lufthansa Group, 2020، ص. 18).

أما من الناحية البشرية، فإن الاستثمار في تدريب الكوادر الفنية والإدارية يُعد ركيزة استراتيجية لاستدامة التشغيل في الظروف غير الاعتيادية، وهو ما تؤكد عليه أدبيات السلامة التشغيلية في الطيران المدني المعاصر. (ICAO, 2019، ص. 33). إلى جانب التكيّف مع التحديات المباشرة، ثمة أبعاد استراتيجية أخرى يجب أخذها بعين الاعتبار لتعزيز الدور المحوري لمطار معيتيقة الدولي على المستوى الوطني والإقليمي. حيث إن دمج هذه العناصر ضمن رؤية استراتيجية شاملة يُمثل خطوة محورية نحو بناء منظومة تشغيلية أكثر استدامة وقدرة على التكيّف مع التحديات المناخية والجغرافية المحيطة. ومن خلال الاستفادة الذكية من التجارب الدولية، وتوظيف القدرات المحلية بكفاءة، يصبح مطار معيتيقة قادرًا على تعزيز مكانته كبوابة جوية رئيسية للعاصمة طرابلس والدولة الليبية، وداعمًا حقيقيًا للاقتصاد الوطني من خلال توفير بيئة تشغيلية آمنة وفعالة ومواكبة للمعايير الدولية للسلامة (IATA, 2020، ص. 27).

يتضح من خلال ما سبق أن تعزيز كفاءة التشغيل لا يتوقف عند تبني الحلول أو استلهام التجارب الدولية فحسب، بل يتطلب أيضًا فهماً معمقاً للسياق البيئي الذي تعمل ضمنه المنظومة الجوية. ومن هذا المنطلق، فإن أي محاولة لتحسين الأداء التشغيلي ينبغي أن تُبنى على أساس علمي يستند إلى تحليل دقيق للواقع المناخي المحيط، بما يسمح بتقدير حجم التأثيرات الفعلية على مختلف جوانب الحركة الجوية. ولذلك، فإن الانتقال نحو معالجة أكثر موضوعية وفاعلية لتلك التحديات يستوجب التوجه إلى دراسة منهجية للظواهر الجوية ذات العلاقة، باعتبارها خطوة أساسية لفهم أسباب القصور، وتحديد أنماط التأثير، واقتراح الإجراءات المناسبة للتكيف.

فهذه الدراسة لا تمثل فقط ضرورة تحليلية، بل تشكل أيضًا أرضية علمية تُمكّن من بناء سياسات تشغيلية أكثر مرونة واستجابة للواقع المناخي المحلي، وهو ما سيتم تناوله في هذه الدراسة.

المحـــور الثانـــي ـ الظواهر الجوية المؤثرة على كفاءه النقل الجوي خلال مراحل الطـــيران:

يتأثر النقل الجوي بشكل مباشر بالعوامل المناخية خلال كافة مراحل الرحلة الجوية، بدءًا من مرحلة الإقلاع، مرورًا بمرحلة التحليق، وانتهاءً بمرحلة الهبوط. وتتعقد هذه التأثيرات بشكل ملحوظ في المطارات التي تقع ضمن مناطق مناخية متقلبة تتسم بتداخل عدة أنماط جوية مثل مطار معيتيقة الدولي، الذي يتأثر بتقاطع مناخ البحر الأبيض المتوسط مع الامتداد الصحراوي. لذا، يستوجب هذا السياق إجراء تحليل معمق للظواهر الجوية المختلفة التي تؤثر على كفاءة التشغيل، مع تقييم مدى فاعلية التدابير التشغيلية والتقنيات المعتمدة للتعامل مع كل ظاهرة، وذلك بهدف تطوير استراتيجيات تشغيلية متكاملة تعزز من سلامة وكفاءة النقل الجوي في ظل هذه الظروف المتغيرة.

أولًا ـ العوامل المؤثرة على النقل الجوي في مرحلة الطيران المستقيم:

تُعد مرحلة الطيران المستقيم من المراحل الحرجة في رحلة الطائرة، حيث تتحرك ضمن ارتفاعات عالية تتراوح غالبًا بين 30,000 و40,000 قدم. (Anderson, 2020, p. 134) في هذه المنطقة الجوية، تتعرض الطائرة لعوامل جوية معقدة مثل التجلد، والعواصف الرعدية، والمطبات الهوائية، وكلها تؤثر على الأداء الفني للطائرة، وسلامة الركاب، واستمرارية الرحلات. ورغم أن هذه العوامل لا تؤدي عادة إلى إيقاف الرحلات بالكامل، إلا أنها قد تسبب تأخيرًا، أو انحرافًا عن المسار، أو زيادة استهلاك الوقود، ما يستوجب اتخاذ إجراءات فنية دقيقة من قبل الطاقم والمراقبين الجويين.

1. تجلّد الطائـــرات: تجلد الطائرة هو ظاهرة جوية تحدث عند تحليقها في طبقات جوية باردة ورطبة، فتتكوّن طبقات من الجليد على سطحها، خصوصًا عند انخفاض درجات الحرارة إلى ما دون الصفر المئوي. ويؤدي ذلك إلى تشوه انسيابية الهيكل وزيادة الوزن، مما يقلل من كفاءة الطيران ويُعرّض المحركات وخزانات الوقود لمشاكل تقنية. ورغم أن هذه الظاهرة محدودة الحدوث في مطار معيتيقة نظرًا لموقعه الساحلي ومناخه المتوسطي، إلا أن بيانات سنة 2021 تشير إلى انخفاض في عدد الرحلات الدولية خلال شهري يناير وفبراير، حيث سُجّلت 125 رحلة فقط في يناير، مقارنة

بأكثر من 190 في يونيو، ما قد يعكس تأثرًا جزئيًا بحالات رطوبة باردة أو ضباب فجري. ويعتمد المطار في مجابهة هذه الظاهرة – إن وُجدت – على المراقبة الجوية المستمرة وتجنب التحليق في المناطق منخفضة الحرارة عند توفر معلومات مسبقة من النشرات الجوية..(Smith & Jones, 2018, p. 98)

2. العواصف الرعدية: تتكون العواصف الرعدية نتيجة صعود تيارات هوائية دافئة ورطبة إلى الأعلى، حيث تتكاثف على شكل سحب ركامية عملاقة مصحوبة بالبرق والرعد والأمطار الغزيرة والرياح القوية. وتُعد من أخطر الظواهر الجوية على الطيران، إذ تتسبب في اضطرابات مفاجئة في الجو،.(Brown et al., 2021, p. 157) وتؤثر على الأجهزة الملاحية والاتصالات، ما قد يستدعي تأخير أو تحويل الرحلات. في مطار معيتيقة، تتزايد احتمالية حدوث هذه العواصف خلال فصلي الخريف والشتاء، كما تُظهر بيانات 2019، التي سجّلت انخفاضًا ملحوظًا في عدد الرحلات من 250 في أغسطس إلى 170 فقط في أكتوبر، وهو ما يعكس اضطرابات الطقس المصاحبة لتغير الفصول. ويتم التصدي لهذه الظاهرة من خلال أنظمة الرصد الجوي الآني وتحديثات الملاحة التي تُمكّن الطيار من تغيير المسار لتجنب مركز العاصفة.

3. المطبات الهوائية والرياح العليا: تنتج المطبات الهوائية عن التقاء كتل هوائية مختلفة السرعة أو الكثافة في طبقات الجو العليا، ما يؤدي إلى اهتزاز مفاجئ للطائرة. وتؤثر هذه الظاهرة على راحة الركاب واستقرار الرحلة، وقد تتسبب في تعديل ارتفاع الطيران أو تغيير المسار الجوي. وتظهر آثار هذه الظاهرة في مطار معيتيقة بشكل واضح خلال مواسم التغير المناخي بين الشتاء والربيع، كما هو الحال في مارس وأبريل 2020، حيث سُجّل تراجع حاد في عدد الرحلات، من 60 رحلة في مارس إلى صفر تقريبًا في أبريل، نتيجة الإغلاق العام وتفاقم تأثير الاضطرابات الجوية. ويعتمد الطيارون في مواجهة هذه الظاهرة على التنسيق المستمر مع برج المراقبة وتغيير مستوى التحليق بسرعة عند توقع مناطق اضطراب هوائي.

ثانيًا ـ العوامل المؤثرة على النقل الجوي خلال عمليتي الصعود والهبوط:

تُعد مرحلتا الإقلاع والهبوط من أكثر مراحل الطيران حساسية، حيث تكون الطائرة على ارتفاعات منخفضة وتتفاعل بشكل مباشر مع الظروف الجوية السطحية. وتشكل العوامل مثل الضباب، والعواصف الغبارية، والأمطار الغزيرة، والرياح الجانبية، تحديات حقيقية أمام كفاءة التشغيل في هذه المرحلة، لما تسببه من ضعف في الرؤية أو

تقلبات مفاجئة في مسار الطائرة. وتستلزم هذه الظروف تجهيزات ملاحية دقيقة، وتنسيقًا عاليًا بين الطيارين وبرج المراقبة، بالإضافة إلى أنظمة دعم أرضية فعالة، لتأمين سلامة العمليات الجوية.

1. الضباب: الضباب هو عبارة عن تكاثف قطرات الماء في طبقات قريبة من سطح الأرض، يؤدي إلى انخفاض مدى الرؤية الأفقية، لا سيما خلال ساعات الفجر الباكر. ويُعد من أكثر العوامل الجوية تأثيرًا على الإقلاع والهبوط، إذ يتطلب تجهيزات ملاحية دقيقة، وقد يفرض تأخيرًا في مواعيد الرحلات. وتشير بيانات مطار معيتيقة إلى انخفاض في حركة التشغيل خلال شهري يناير وفبراير من عام 2021، حيث لم تتجاوز الرحلات الدولية 250 شهريًا، في مقابل 533 رحلة في يوليو، وهو ما يعكس تأثير الرؤية المحدودة المصاحبة للضباب الشتوي، خاصة في الساعات الأولى من النهار. ويعتمد المطار في التعامل مع هذه الظاهرة على أنظمة الهبوط الآلي (ILS ومصابيح مدرج عالية الكفاءة لتأمين سلامة الهبوط..(Lee, 2017, p. 46)

تشكل ظاهرة الضباب أحد العوامل الجوية المؤثرة بشكل ملحوظ على كفاءة التشغيل في مطار معيتيقة، خاصةً خلال أشهر الشتاء التي تشهد تكرارًا كبيرًا لهذه الظاهرة.

يوضح الجدول التالي متوسط عدد الرحلات الشهرية ومتوسط أيام الضباب لكل شهر خلال فترة الدراسة حتى نهاية 2024، مع بيانات منفصلة لأشهر يناير حتى أبريل من عام 2025.

جدول (1) متوسط عدد الرحلات الجوية ومتوسط عدد أيام الضباب للفترة من 2019-أبريل 2025

الشهر	عدد الرحلات	عدد أيام الضباب
يناير	245	10.2
فبرير	232	8.1
مارس	215	5.7
ابريل	210	4.8
مايو	300	2.0
يونيو	480	0.0
يوليو	530	0.0
أغسطس	515	0.0
سبتمبر	400	1.0
أكتوبر	350	3.0
نوفمبر	300	7.0
ديسمبر	240	11.0

عمل الباحثة، بالاعتماد على سجلات الهيئة العامة للأرصاد الجوية وإدارة مطار معيتيقة

يبين التحليل وجود علاقة عكسية بين تكرار أيام الضباب وحجم حركة الرحلات، إذ تنخفض معدلات التشغيل في الأشهر التي تسجل فيها ظاهرة الضباب بكثرة، خصوصًا خلال شهور يناير وديسمبر. في المقابل، تشهد أشهر الصيف (يونيو، يوليو، أغسطس) استقرارًا جوياً واضحًا، مع تراجع ظاهرة الضباب إلى معدلات شبه منعدمة، مما يرفع من كفاءة عمليات الإقلاع والهبوط ويزيد من انتظام الرحلات. , الملاحظ أن متوسط عدد الرحلات وأيام الضباب تم حسابه بجمع البيانات لكل شهر من عام 2019 حتى أبريل 2025 (حسب البيانات المتوفرة) وقسمتها على عدد السنوات أو الأشهر التي توافر فيها البيانات. وقد اختيرت هذه الأشهر بدقة لأنها تمثل أفضل تمثيل موسمي لتأثير الضباب، حيث تتباين الظروف الجوية بين مواسم الشتاء القاسية والصيف المستقرة، مما يسمح بفهم كيف تؤثر الظواهر الجوية على أداء المطار عبر الفصول المختلفة. هذه المعرفة تدعم التخطيط التشغيلي واتخاذ القرارات المبنية على البيانات المناخية. كمثال عملي، في يناير 2021، تسبب الضباب الكثيف في تأخيرات متكررة وإلغاء بعض الرحلات، غير أن تطبيق نظام الهبوط الآلي ساهم بشكل فعال في تخفيف أثر هذه الظروف، مما مكن من استمرار العمليات الجوية رغم ضعف الرؤية الأفقية.

بالرغم من التحديات التي يمثلها الضباب، أظهرت البيانات ارتباطًا سلبيًا ضعيفًا (r =بين عدد أيام الضباب ومتوسط الرحلات، مما يدل على قدرة مطار معيتيقة على التكيف مع هذه الظروف، لا سيما بفضل تقنيات الملاحة الجوية المتطورة وأنظمة الهبوط الآلي التي تسهم في تقليل الانقطاع في عمليات المطار (0.16-

2. العواصف الغبارية: تحدث العواصف الغبارية نتيجة نشاط الرياح الجنوبية الحارة القادمة من الصحراء الكبرى، وتكون محملة بذرات الغبار الدقيقة والرمال، مما يؤدي إلى تدهور الرؤية وزيادة الضغط على أنظمة الطائرة، وخاصة المحركات. وتؤدي هذه الظاهرة إلى تأخير عمليات الإقلاع أو تحويل مسار الطائرات. في معيتيقة، تكررت هذه الحالات خلال شهري مارس وأبريل من عام 2019، حيث انخفض عدد الرحلات من 270 في فبراير إلى 210 في مارس، ثم إلى أقل من 190 في أبريل، وهو ما يرتبط بنشاط رياح "القبلي" خلال فصل الربيع. وتعتمد سلطات المطار على توقعات الأرصاد المبكرة وإغلاق المدرج مؤقتًا عند انخفاض الرؤية لأقل من الحد المسموح به. (المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، 2020، ص. 45-52).

تُعد العواصف الرملية من الظواهر المناخية المتكررة والمؤثرة سلبًا على كفاءة العمليات التشغيلية في مطار معيتيقة ، خاصة خلال أشهر الربيع (مارس، أبريل، مايو).

وقد تم اختيار هذه الأشهر تحديدًا لارتفاع وتيرة العواصف فيها نتيجةً للتغيرات المناخية الانتقالية بين الشتاء والصيف، إذ يُلاحظ تصاعد الرياح الحاملة للرمال والغبار من الجنوب والجنوب الشرقي خلال هذه الفترة، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في مستوى الرؤية الأفقية، ويُعطل حركة الإقلاع والهبوط. وهدا موضحا بالجدول التالي:

جدول (2) متوسط عدد الرحلات الجوية وعدد أيام العواصف الرملية خلال اشهر الربيع (2019-2025)

الشهر	متوسط عدد الرحلات	متوسط عدد أيام العواصف الرملية
مارس	218	4.2
أبريل	204	6.0
مايو	229	3.3

المصدر: عمل الباحثة، بالاعتماد على سجلات الهيئة العامة للأرصاد الجوية وإدارة مطار معيتيقه .

من خلال التحليل أظهر معامل بيرسون وجود علاقة ارتباط سالبة قوية (r = -0.67)بين عدد العواصف الرملية الشهرية وعدد الرحلات الجوية في المطار. يشير هذا إلى أن تكرار العواصف الرملية يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في عدد الرحلات، إما نتيجة الإلغاء أو التحويل أو تأخير التشغيل. مثلا في أبريل 2023، شهد مطار معيتيقة خمس عواصف رملية خلال الشهر، مما أثر بشكل كبير على سير العمليات الجوية. أدت هذه العواصف إلى إلغاء عدة رحلات وتحويل بعضها إلى مطار بنينا، بالإضافة إلى تأجيل بعض الرحلات لساعات طويلة. تسببت العاصفة التي وقعت في 15 أبريل بتوقف حركة الطيران لأكثر من ست ساعات بسبب تراكم الرمال على المدرج وانخفاض الرؤية الأفقية إلى أقل من 500 متر. يمثل هذا الحدث مثالًا واضحًا على التحديات التي تفرضها العواصف الرملية على كفاءة التشغيل.

كما تتسبب العواصف الرملية في إغلاق المدارج مؤقتًا، الأمر الذي يستلزم تنفيذ عمليات تنظيف وصيانة فنية مكثفة قبل استئناف التشغيل. يؤدي ذلك إلى زيادة الضغط على الموارد التشغيلية ويؤثر على الجداول الزمنية للرحلات. كما يقلل انخفاض مدى الرؤية من كفاءة عمليات الإقلاع والهبوط، مما يؤدي إلى فرض قيود على حركة الطيران الداخلية والدولية. على الرغم من توفر أنظمة رصد جوية، إلا أن عدم القدرة على التنبؤ الدقيق ببداية ونهاية العواصف الرملية يحد من قدرة المطار على الاستجابة السريعة، خاصة خلال فترات ذروة الحركة الجوية في فصل الربيع

3. الاضطرابات الجوية (تيارات صاعدة وهابطة): تُعد هذه الاضطرابات من الظواهر المتكررة خلال تغير الفصول، حيث تؤدي الفروقات الحرارية في النهار والليل إلى تشكل تيارات هوائية عمودية قد تُحدث تقلبات فجائية في حركة الطائرة. وتُؤثر بشكل

خاص على مرحلتي التسلق والهبوط، إذ تسبب انعدام استقرار الطائرة، وتدفع قائد الرحلة لإعادة المحاولة أو التأجيل. الهيئة العامة للطيران المدني، 2021، ص. 61). وتُظهر بيانات مطار معيتيقة في سبتمبر 2020 تراجعًا في الرحلات من 95 في أغسطس إلى 60 فقط، مما يُعزز ارتباط هذه الظاهرة بالمناخ الانتقالي في الخريف. وتُواجه هذه الحالات بتوجيهات دقيقة من برج المراقبة وإعادة جدولة الرحلات خلال الفترات الأكثر استقرارًا.

4. الأمطار الغزيرة: تتشكل الأمطار الغزيرة نتيجة تكاثف بخار الماء داخل السحب الركامية، وغالبًا ما تكون مصحوبة برياح قوية وتيارات هوائية هابطة. وتؤثر هذه الظاهرة على قدرة الطائرات على الهبوط بأمان، كما تُسبب انزلاقًا على المدرج وتؤثر على أنظمة الاتصال والرادار. في مطار معيتيقة، تسجّل هذه الظاهرة ذروتها في الشتاء، وقد أظهرت بيانات عام 2017 انخفاضًا في عدد الرحلات في ديسمبر إلى أقل من 270، مقارنة بأكثر من 350 رحلة شهريًا خلال الصيف، مما يعكس أثر الأمطار الموسمية على كفاءة العمليات التشغيلية. ويتم التصدي لهذه الظاهرة عبر نظام صرف سريع على المدرج، واستخدام تقنيات الرادار الحديثة لمراقبة كثافة الهطول. (إدارة الطيران المدني الليبي، 2018، ص. 22)

5. الرياح الجانبية والتباين الحراري: تؤثر الرياح الجانبية على الطيران عند اختلاف اتجاهها عن اتجاه المدرج، ما يصعّب عمليات الهبوط ويُلزم الطيار بمناورات معقدة. كما يُساهم التباين الحراري الكبير بين النهار والليل – والذي يتجاوز أحيانًا 10 درجات مئوية – في إحداث اضطرابات في الكتل الهوائية، مما ينعكس على استقرار الطائرة وأداء محركاتها، ويزيد من استهلاك الوقود. وتشير بيانات 2021 إلى تأجيل عدد من الرحلات في موسم الشتاء، حيث بلغ عدد الركاب على خط معيتيقة – إسطنبول في فبراير 6,528 فقط، بنسبة امتلاء 75%، بينما ارتفع العدد إلى 10,182 في نوفمبر مع تحسن الأحوال الجوية ونسبة امتلاء بلغت 95%. ويتم التعامل مع هذه الظاهرة من خلال تعديل مسار الهبوط ومتابعة سرعة الرياح بشكل مباشر من خلال أجهزة القياس الأرضية الحديثة. (إدارة الخطوط الجوية الليبية، 2021، ص. 44)

المحور الثالث ـ تقييم كفاءة النقل الجوي وفق الظروف الجوية السائدة:

يتضمن هذا الجزء تقييمًا لكفاءة التشغيل ي من خلال تحليل تأثير الظواهر الجوية السائدة على مراحل تشغيل الرحلات الجوية خلال الفترة من 2019 إلى ابريل 2025. وقد اعتمد التحليل على بيانات تشغيلية وإحصائية باستخدام معامل بيرسون وتحليل

الاتجاهات لتحديد العلاقة بين المتغيرات المناخية ومستوى الأداء التشغيلي. كما يُناقش هذا القسم التحديات التشغيلية والفرص المتاحة لتحسين الأداء، مع التركيز على استراتيجيات التشغيل المرنة التي تضمن استمرارية وكفاءة النقل الجوي في ظل الظروف المناخية المتقلبة.

أولا ـ تأثير الظواهر الجوية على كفاءة التشغيل :

تأثر مطار معيتيقة الدولي بمناخ متوسطي ساحلي يشهد تقلبات جوية واضحة خلال الشتاء والربيع، خصوصًا في مرحلة الإقلاع والهبوط بسبب الضباب، العواصف الرملية، والرياح الجانبية، ما يؤدي إلى تأخيرات وإلغاء رحلات. كما تتأثر مرحلة التحليق بظواهر مثل المطبات الهوائية والتجلد

بالرغم من التحديات المناخية التي تواجه مطار، الا إن هناك عوامل جوية إيجابية تسهم في تعزيز كفاءة التشغيل، خاصة خلال فصلي الصيف والخريف. ففي شهري يوليو وأغسطس، يسود الاستقرار الجوي حيث تنعدم تقريبًا حالات الضباب والأمطار والعواصف الرملية.

كما تقل شدة الرياح العرضية، مما يسهل عمليات الإقلاع والهبوط بشكل آمن ومنتظم. بالإضافة إلى ذلك، فإن ارتفاع درجات الحرارة ضمن الحدود المقبولة يساعد في تحسين حركة الهواء ويقلل من تراكم الرطوبة، إلى جانب وضوح الرؤية الأفقية خلال النهار، ما يقلل الحاجة للاعتماد الكامل على الأجهزة الإلكترونية. وبطهر الجدول الظواهر الجوية عبر أشهر السنة وتأثيرها على كفاءة التشغيل.

جدول (3) متوسط الظواهر الجوية السائدة وأثرها على تشغيل الرحلات الجوية شهريًا خلال الفترة 2019- أبريل 2025

الشهر	الظواهر الجوية السائدة	تكرار	أثرها على التشغيل	ملاحظات
يناير	ضباب، رياح- مطب هوائي	مرتفع	تأخير متكررة وصعوبة اقلاع وهبوط	يتطلب أنظمة ملاحة دقيقة
فبراير	ضباب، أمطار، مطبّات هوائية	مرتفع	تأخيرات متوسطة	يعتمد على توقيت الذروة
مارس	عواصف رملية، رياح نشطة	مرتفع	إلغاء/تحويل رحلات	يتطلب جاهزية ميدانية
أبريل	عواصف رملية، تقلبات مفاجئة	مرتفع	تأخيرات حادة	مراجعة الجدولة مستمرة
مايو	عواصف متقطعة، بداية استقرار	متوسط	تأخيرات طفيفة	تحسّن تدريجي
يونيو	استقرار جوي، حرارة معتدلة	منخفض	تشغيل منتظم	موسم مناسب للتوسع

يوليو	جو مستقر، رؤية ممتازة	منخفض	تشغيل مثالي	ذروة الرحلات
أغسطس	جو صيفي مستقر، حرارة عالية	منخفض	تشغيل مثالي مع مراقبة الحرارة	فرصة توسيع التشغيل
سبتمبر	رياح خريفية معتدلة	منخفض	تشغيل منتظم	بداية تغيّر المناخ
أكتوبر	أمطار خفيفة، بداية اضطرابات	متوسط	تأخيرات محدودة	مراقبة مستمرة
نوفمبر	تقلبات جوية، بداية الضباب	مرتفع نسبيًا	زيادة التأخيرات	تحضير للموسم البارد
ديسمبر	ضباب كثيف رياح مطب هوائي	مرتفع	تأخيرات ملحوظة صباحًا	جاهزية فنية وتقنية مطلوبة

المصدر: عمل الباحثة بناءً على سجلات مطار معيتيقة والجداول المناخية الرسمية خلال الفترة 2019– حتي ابريل 2025 .

يتضح من توزيع الظواهر الجوية في الجدول أن كفاءة التشغيل في مطار معيتيقة الدولي ترتبط ارتباطًا مباشرًا بالمتغيرات المناخية الشهرية، حيث تتباين مستويات التأثير بين شهور الشتاء والصيف بشكل واضح، الأمر الذي يؤكد أهمية الجدولة الموسمية المرنة وتكييف العمليات التشغيلية حسب المناخ السائد.

يتكرر الضباب بشكل كبير في يناير، فبراير، ديسمبر، إضافةً إلى نشاط الرياح السطحية والمطبات الهوائية، ما يؤدي إلى انخفاض الرؤية الأفقية وصعوبة في الإقلاع والهبوط، وبالتالي يتسبب ذلك في زيادة حالات التأخير وتعليق بعض الرحلات. على سبيل المثال، سجل شهرا يناير وديسمبر تكرارًا مرتفعًا لهذه الظواهر، ما استدعى الجاهزية الفنية العالية وتفعيل أنظمة الهبوط الآلي لتقليل أثر الاضطرابات.

أما في فصل الربيع (مارس، أبريل، مايو)، فتبرز العواصف الرملية كأحد أخطر العوامل المؤثرة، حيث تؤدي إلى اضطراب الرؤية وتراكم الرمال على المدارج، وهو ما يعوق سير العمليات التشغيلية بشكل مباشر. وقد سُجل في شهري مارس وأبريل أعلى معدلات تأثير لهذه الظاهرة، ترافق ذلك مع انخفاض في عدد الرحلات نتيجة الإلغاءات والتحويلات المتكررة. فعلى سبيل المثال، في أبريل 2023 اضطرت إدارة المطار إلى تعليق الحركة الجوية لمدة 6 ساعات بسبب عاصفة رملية كثيفة، مما أثر على الجدول التشغيلي لأكثر من 20 رحلة.

في المقابل، تشهد أشهر الصيف (يونيو، يوليو، أغسطس) استقرارًا جويًا ملحوظًا، حيث تقل العوامل المعيقة مثل الضباب والعواصف، وتتحسن الرؤية الأفقية، مما يرفع من كفاءة الإقلاع والهبوط ويُسهم في انتظام جدول الرحلات. ويعد شهر يوليو من أكثر الأشهر التي تحقق فيها المطار كفاءة تشغيلية مرتفعة، إذ أن الظروف الجوية الملائمة

انعكست إيجابًا على عدد الرحلات الفعلي. على سبيل المثال، في يوليو 2022، سُجلت زيادة ملحوظة في حجم التشغيل، حيث تجاوز عدد الرحلات 530 رحلة، ما يعكس أثر المناخ المستقر على الأداء.

خلال فصل الخريف (سبتمبر، أكتوبر، نوفمبر)، تبدأ المؤشرات المناخية في التغير مجددًا. ففي سبتمبر، تبقى الظروف الجوية ملائمة نسبيًا، لكن مع حلول أكتوبر ونوفمبر تبدأ الأمطار الخفيفة والضباب في الظهور تدريجيًا، مسببةً تأخيرات محدودة إلى متوسطة. ويُلاحظ أن هذه الأشهر تمثل مرحلة انتقالية بين الاستقرار الصيفي والاضطراب الشتوي، ما يتطلب رصدًا مبكرًا للتقلبات الجوية وتكييف العمليات التشغيلية تبعًا لذلك

مما سبق نلاحظ أن الضباب والعواصف الرملية يمثلان أبرز العوامل الجوية السلبية التي تؤثر في كفاءة التشغيل، خصوصًا في الربع الأول من العام، بينما تُعد أشهر الصيف فرصة استراتيجية لتعزيز الأداء وتحقيق مرونة أكبر في الجدولة. كما أن تعزيز أنظمة الهبوط الآلي والاستشعار المبكر، خاصة في فصلي الشتاء والربيع، سيسهم في الحد من التأثيرات الجوية المتقلبة، إلى جانب ضرورة اعتماد التخطيط الموسمي المرتكز على البيانات المناخية التاريخية لتحقيق كفاءة تشغيلية مستدامة

يظهر التحليل الإحصائي للبيانات التشغيلية الشهرية لمطار معيتيقة الدولي خلال الفترة 2019–2025 وجود تأثير واضح للعوامل الجوية على حركة الطائرات، ولا سيّما فيما يتعلق بعدد الرحلات المجدولة والمنفذة. ولغرض قياس هذا التأثير، تم اعتماد مجموعة من الأدوات الإحصائية، أبرزها معامل بيرسون للارتباط وتحليل الاتجاه العام، وذلك لفحص العلاقة بين الظواهر الجوية السائدة ومعدلات الأداء التشغيلي للمطار. وقد تم اختيار أشهر معينة بناءً على كثافة وتكرار الظواهر الجوية فيها، بهدف تقديم صورة تحليلية دقيقة عن أثرها الفعلي على كفاءة التشغيل

ثانيا ـ استراتيجية تحسين الأداء التشغيلي في ظل التحديات الجوية :

يمثل تحليل الاتجاه العام لحركة الطيران مؤشراً أساسياً لفهم تطور الأداء التشغيلي لمطار معيتيقة الدولي، وتأثير العوامل الجوية وغيرها من الظروف التشغيلية على حركة الرحلات الجوية خلال فترة الدراسة (2019-أبريل 2025) يعكس هذا التحليل التغيرات في حجم الرحلات الجوية ويساعد على تحديد نمط الأداء الكلي للمطار عبر السنوات المختلفة. كما هو موضح بالجدول التالي:

جدول (4) يوضح متوسط عدد الرحلات الشهرية للفترة 2019–أبريل 2025.

السنة	متوسط عدد الرحلات الشهرية	معدل النمو
2019	237.3	143.9
2020	579	-55.6
2021	256.9	9.2
2022	280.4	5.4
2023	295.7	4.9
2024	310.1	-32.0
* 2025	210.7	143.9

*** بيانات السنة اشتملت على أشهر: يناير فبراير. مارس. ابريل فقط**

المصـــدر: عمل الباحثة اســـتنادا الي هيئة العامة للمطارات، تقرير الأداء التشـــغيلي والمناخي لمطار معيتيقة الدولي، طرابلس: إدارة السلامة الجوية،

تشير البيانات إلى انخفاض ملحوظ في عدد الرحلات خلال عام 2020، إذ سجل المطار 695 رحلة دولية فقط، مقارنة بـ2,848 رحلة في عام 2019، نتيجة الظروف الاستثنائية التي شهدها العالم مثل جائحة كوفيد-19. مع ذلك، شهد عام 2021 تعافيًا نسبيًا في حركة الرحلات حيث وصل عدد الرحلات إلى نحو 3,083 رحلة، مع عدم تحقيقه لمستوى ما قبل الأزمة.

استمر الاتجاه العام بالتحسن في الأعوام التالية، حيث أظهرت الإحصاءات المتوسطة للفترة 2022–2024 زيادة تدريجية في عدد الرحلات الشهرية، مما يعكس جهود تحسين الاستجابة التشغيلية والتكيف مع الظروف الجوية. بالنسبة لعام 2025، تم تحليل البيانات حتى نهاية أبريل فقط، حيث بلغ متوسط عدد الرحلات الشهرية في هذه الأشهر الأربعة الأولى قيمة أقل من متوسط السنة كاملة، مما يعكس طبيعة جزئية للبيانات وليست تعبيراً عن متوسط سنوي.

كما تشير البيانات إلى وجود اتجاه تصاعدي مستقر في حركة النقل الجوي خلال الفترة من 2019 وحتى أبريل 2025، مع بعض التباينات التي تعكس تأثيرات متغيرة على الأداء التشغيلي. ففي عام 2019، سجل متوسط عدد الرحلات الشهرية مستوى منخفضًا نسبيًا يعكس النشاط التشغيلي المعتاد قبل ظهور جائحة كورونا العالمية. وفي

عام 2020، لوحظ ارتفاع غير متوقع وكبير في متوسط عدد الرحلات الشهرية بنسبة نمو بلغت 143.9%، ويرجع ذلك على الأرجح إلى محاولات تعويض التوقفات التشغيلية خلال الجائحة، أو تسجيل بيانات غير اعتيادية نتيجة الظروف الاستثنائية التي شهدها القطاع.

أما عام 2021، فشهد تراجعًا ملحوظًا في حركة الرحلات بنسبة انخفاض بلغت 55.6%، مما يعكس استمرار تأثيرات الجائحة وتأخر عملية التعافي في قطاع النقل الجوي. ومع بداية عام 2022، بدأت حركة النقل الجوي تستعيد نشاطها تدريجيًا بنمو بنسبة 9.2%، مدفوعة بتحسن الأوضاع الصحية العالمية ورفع القيود على السفر الجوي، وهو ما استمر خلال عام 2023 حيث سجل المطار زيادة ملموسة في عدد الرحلات، خاصة في شهري يوليو وأغسطس، مع نمو إضافي بلغ 5.4%. ويتزامن هذا الارتفاع مع استقرار الظروف المناخية الصيفية، التي شهدت انخفاضًا في معدلات الضباب والعواصف الرملية، مما أسهم في تقليل حالات التأخير والإلغاء، واستغلال ذروة الموسم الصيفي لتعزيز الكفاءة التشغيلية.

وفي عام 2024، استمر هذا الاتجاه التصاعدي بشكل متسق مع نمو بلغ 4.9%، مع توسع حركة النقل الجوي وفتح خطوط جديدة أو زيادة عدد الرحلات التشغيلية. أما بيانات أبريل 2025، فتظهر انخفاضًا نسبيًا في متوسط عدد الرحلات الشهرية بنسبة 32.0%، ويرجع ذلك إلى عوامل موسمية أو تقلبات تشغيلية مؤقتة.

يُبرز هذا التحليل أهمية تبني استراتيجيات تشغيلية مرنة تأخذ بعين الاعتبار التأثيرات المناخية الموسمية، إلى جانب ضرورة تطوير البنية التحتية الجوية وتحديث التقنيات المستخدمة، لضمان استمرارية الأداء التشغيلي وتحسين جودة خدمات النقل الجوي في مطار معيتيقة الدولي.

يتضح من خلال الدراسة أن كفاءة التشغيل الجوي في مطار معيتيقة الدولي تتشكل نتيجة لتفاعلات مركّبة بين البنية الجغرافية للموقع والعوامل المناخية السائدة ضمن النطاق الساحلي لمدينة طرابلس. فقد أظهر التحليل الكمي والزمني للبيانات المناخية والتشغيلية أن التوزيع الشهري للظواهر الجوية، لا سيما العواصف الرملية والضباب، يمثل أحد المحددات الجوهرية في انتظام حركة الطيران.

كشفت المؤشرات أن أكثر الشهور تأثرًا هي يناير، مارس، وأبريل، حيث يتكرر خلالها اختلال الرؤية الأفقية والنشاط الهوائي غير المستقر، مما يؤدي إلى ارتفاع

ملحوظ في معدلات تأخير الرحلات وإلغائها. في المقابل، اتسمت أشهر يوليو وأغسطس بانخفاض تأثير المتغيرات الجوية، مما أتاح استقرارًا تشغيليًا يمكن قياسه كمّيًا من حيث عدد الرحلات ونسب انتظامها. هذا التفاوت يبرز أهمية التعامل مع المناخ كعامل زمني متغير، لا كخلفية ثابتة.

ومن المنظور الجغرافي، تؤكد الدراسة أن الموقع الساحلي المنبسط للمطار، وافتقاره للعوائق التضاريسية الطبيعية، يجعله مكشوفًا لتأثيرات الرياح الجانبية والتيارات الهوائية المتقلبة، مما يفاقم من أثر الظواهر المناخية ويُضعف قدرة المدارج على الاحتواء. كما أظهرت البنية التحتية الحالية قصورًا وظيفيًا في مواجهة هذه التحديات، رغم الاعتماد النسبي على بعض الأنظمة الملاحية المتقدمة.

لقد أثبتت المعالجة التحليلية أن الكفاءة التشغيلية ليست ناتجة فقط عن الجاهزية التقنية، بل عن فهم دقيق للسياق المكاني والزماني الذي تعمل ضمنه المنظومة الجوية. وعليه، فإن أي تطوير تشغيلي يجب أن ينطلق من دمج الرؤية الجغرافية المناخية في إدارة المطار، عبر اعتماد نموذج تشغيلي مرن يتفاعل مع التغيرات المناخية الشهرية، ويعيد ضبط أطر التخطيط وفقًا للتنبؤات الجوية الدقيقة، بدلًا من الاعتماد على أنماط موسمية عامة.

وبناءً على ما توصلت إليه الدراسة من نتائج كمية وتحليلية، يمكن القول إن هذه المعطيات تمثل إضافة نوعية في حقل الجغرافيا التطبيقية، لما تسهم به من تعميق للفهم بشأن العلاقة بين الظواهر المناخية والبنية التشغيلية في البيئات الساحلية الحساسة. كما تفتح هذه النتائج المجال أمام إعادة النظر في آليات إدارة التشغيل الجوي في المطارات المعرضة لمناخات متقلبة، وفي مقدمتها مطار معيتيقة الدولي. ومن هنا، تبرز الحاجة إلى تبنّي مقاربات أكثر شمولية تعتمد على تقنيات الرصد والتنبؤ المتقدمة، إلى جانب تطوير البنية التحتية والموارد البشرية وفقًا لمعطيات المناخ المحلي. وتأسيسًا على ذلك، تُطرح في ما يلي مجموعة من التوصيات العلمية والعملية التي من شأنها تعزيز كفاءة التشغيل والرفع من جاهزية المطار للتعامل مع التحديات المناخية المستقبلية

الخاتمة:

تعد كفاءة التشغيل في المطارات من المؤشرات المحورية على مدى جاهزيتها في التعامل مع التغيرات البيئية والتقلبات المناخية، خاصة في المطارات ذات المواقع الحساسة كالساحلية أو الصحراوية. ومن خلال هذه الدراسة، تم تسليط الضوء على

مطار معيتيقة الدولي كنموذج تطبيقي لدراسة تأثير العوامل الجوية في ظل موقعه الجغرافي الساحلي والجيومرفولوجية، خلال الفترة الممتدة من عام 2019 حتى عام 2025.

انطلقت الدراسة من إشكالية علمية تتعلق بمدى تأثر كفاءة النقل الجوي في مطار معيتيقة بالظروف المناخية السائدة، وتمت معالجة هذه الإشكالية عبر منهج وصفي تحليلي مدعوم بأدوات إحصائية كمية، شملت تحليل معامل الارتباط (بيرسون) وتحليل الاتجاه العام، مع الاعتماد على بيانات تشغيلية ومناخية دقيقة من مصادر رسمية ومحلية ودولية.

وقد تم تناول الموضوع عبر محاور شملت الموقع الجغرافي والخصائص المناخية، الظواهر الجوية المؤثرة على مراحل الطيران، الأداء التشـــغيلي للمطار، والتقنيات المســـتخدمة لمواجهة هذه التحديات. وفي ضـــوء ذلك، خلصـــت الدراســـة إلى النتائج والتوصيات التالية:

أولًا - النتائج:

1 - يتأثر مطار معيتيقة بدرجة عالية بالظروف الجوية الموسمية، وخاصة خلال الشتاء والربيع، نتيجة الضباب الكثيف والعواصف الرملية والرياح الجانبية.

2- أظهر تحليل معامل الارتباط (بيرسون) وجود علاقة عكسية متوسطة إلى قوية بين تكرار الظواهر الجوية وعدد الرحلات المنفذة شهريًا.

3 - تتسبب العواصف الرملية والضباب في إلغاء وتأخير عدد كبير من الرحلات، وتراجع في حركة الطيران، خصوصًا في شهري يناير وأبريل.

4- ضعف البنية التحتية للمطار، بما فيها محدودية المدارج وغياب أنظمة احتياطية للهبوط، يضاعف من أثر الظواهر الجوية.

5- يلعب الموقع الساحلي المكشوف دورًا في تعريض المطار للرياح الجانبية والمطبات الهوائية التي تؤثر على مرحلتي الإقلاع والهبوط.

6- كشفت البيانات عن أداء تشغيلي أفضل خلال أشهر الصيف (يوليو وأغسطس) حيث يسود الاستقرار الجوي، مما يعزز من فرص جدولة مرنة للرحلات.

7- أظهرت الأنظمة التقنية (مثل الهبوط الآلي والرصد الجوي) دورًا نسبيًا في التخفيف من آثار الظروف المناخية، لكنها ما تزال بحاجة إلى تطوير ودعم لوجستي.

استنادًا إلى النتائج الكمية والتحليلية التي تم التوصل إليها، تُعدُّ هذه المعطيات إسهامًا نوعيًا في مجال الجغرافيا التطبيقية، حيث تعمّق الفهم للعلاقة المعقدة بين الظواهر المناخية والبنية التشغيلية في البيئات الساحلية الحساسة. كما تفتح هذه النتائج آفاقًا لإعادة النظر في آليات إدارة التشغيل الجوي في المطارات المعرضة لتقلبات مناخية، لا سيما مطار معيتيقة الدولي.

بناءً على ما تقدم، تزداد الحاجة إلى تبني مقاربات استراتيجية شاملة تستند إلى تقنيات متقدمة للرصد والتنبؤ المناخي، إلى جانب تعزيز تطوير البنية التحتية والكفاءات البشرية بما يتوافق مع المتغيرات البيئية والمناخية المحلية. وفي هذا السياق، سيتم استعراض مجموعة من التوصيات العلمية والتطبيقية التي تهدف إلى تحسين كفاءة العمليات التشغيلية ورفع جاهزية المطار لمواجهة التحديات المناخية المستقبلية.

ثانيًا ـ التوصيات:

1- تعزيز أنظمة الهبوط الآلي والملاحة الجوية الدقيقة بما يتوافق مع تحديات الضباب والرؤية المحدودة.

2- تحديث وتوسيع البنية التحتية للمطار، خاصة من حيث المدارج وممرات التاكسي، بما يتيح مرونة أكبر في حالات الطوارئ الجوية.

3-اعتماد استراتيجية تشغيل موسمية تتماشى مع التحليل المناخي السنوي، مع تعديل الجداول التشغيلية خلال فترات الذروة المناخية.

4- تحسين نظم الرصد الجوي والإنذار المبكر بالتعاون مع الجهات المختصة بالأرصاد الجوية، مع بناء قاعدة بيانات مناخية دقيقة محدثة سنويًا.

5- إجراء صيانة دورية للبنية الأرضية والمدارج لمواجهة تأثير التربة الرخوة والمياه السطحية خلال فترات الأمطار.

6- رفع كفاءة العنصر البشري من خلال برامج تدريب مستمرة للتعامل مع الظواهر الجوية الطارئة وفق المعايير الدولية.

7- إنشاء مركز تنبؤ جوي متقدم خاص بالمطار يعمل على مدار الساعة لتوفير التقديرات المحدثة للطواقم الأرضية والجوية.

8- دعم التكامل بين قطاعي النقل الجوي والمناخ في ليبيا، بما يحقق نموذجًا للتنبؤ في إدارة المخاطر المناخية بالمطارات.

وبذلك، تُشكّل هذه الدراسة نقطة انطلاق معرفية مهمة تمهّد لإجراء بحوث مستقبلية أوسع نطاقًا وأكثر تعمقًا في مجالات الجغرافيا التطبيقية والنقل الجوي، مع التركيز على تطوير حلول مستدامة لمواجهة التحديات المناخية وكفاءة التشغيل الجوي، وخصوصًا في البيئات الساحلية التي تتسم بتقلبات مناخية معقدة. وقد ساهمت التوصيات المقترحة في صياغة إطار علمي متكامل يدعم الجهات المختصة في تطوير استراتيجيات تشغيل مرنة ومستدامة، تتوافق مع الخصائص المناخية المميزة لمطار معيتيقة الدولي. كما تفتح هذه النتائج آفاقًا واسعة للاستفادة من هذا الإطار في مطارات أخرى داخل ليبيا وخارجها، وخاصة في تلك التي تواجه ظروفًا مناخية مشابهة، مما يسهم في تعزيز كفاءة التشغيل وضمان سلامة الملاحة الجوية.

المراجـــــــــع:

أولا: الراجع العربية

1. أبو زيد، مصطفى. (2019). البيئات الساحلية والتغير المناخي. بيروت: دار النهضة العربية.
2. الزغبي، عبد الكريم. (2016). الجغرافيا التطبيقية في النقل والمواصلات. القاهرة: دار الفكر العربي.
3. السيد، عبد الحميد. (2018). المناخ الصحراوي والتحولات البيئية. القاهرة: دار الكتب الجامعية.
4. الشناوي، محمد. (2014). إدارة المطارات والأداء التشغيلي. الإسكندرية: مكتبة الإشعاع.
5. الفيومي، أحمد. (2017). ديناميكية المناخ في المناطق الحضرية. القاهرة: دار الزهراء.
6. جابر، حسن. (2015). الظواهر المناخية وأثرها على الملاحة الجوية. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.
7. زيدان، مروان. (2020). تحليل كفاءة تشغيل المطارات. بيروت: دار البصائر.
8. حسين، فاطمة. (2022). الموقع الجغرافي وأثره على الأنشطة الجوية. طرابلس: دار العلوم.
9. إدارة الطيران المدني الليبي. (2018). التقرير الفني عن السلامة الجوية. طرابلس: إدارة الطيران المدني.
10. إدارة مطار بنينا. (2021). التقرير السنوي لحركة النقل الجوي. بنغازي: إدارة مطار بنينا

ثانيا: المراجع الأجنبية

1-Anderson, D. (2020). Fundamentals of Flight Operations. Boston: Skyway Publications.
2- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2009). Atmosphere, Weather and Climate. London: Routledge.
3-Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2010). Weather Systems and Air Transport. London: Routledge.
4-Brown, M., Taylor, R., & Adams, C. (2021). Thunderstorms and Aviation Hazards. Oxford: Aeronautical Press.
5- GPO (Government Publishing Office). (2020). Instrument Landing Systems Manual. Washington, D.C.: GPO.
6- ICAO (International Civil Aviation Organization). (2019). Global Aviation Safety Plan. Montreal: ICAO.
7- ICAO (International Civil Aviation Organization). (2021). Annex 3: Meteorological Service for International Air Navigation. Montreal: ICAO.
8- Lee, J. H. (2017). Fog and Low-Visibility Aviation Operations. London: Aviation Safety Institute.
9- Lufthansa Group. (2020). Annual Report on Operational Flexibility. Frankfurt: Lufthansa Publications.
10- Smith, A., & Jones, B. (2018). Aircraft Icing and Safety. New York: Aviation Press.
11- Stolzer, A. J., Halford, C. D., & Goglia, J. J. (2016). Safety Management Systems in Aviation. Farnham: Ashgate